



VI МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ СЕМИНАР

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ
ГАЗОПРОВОДОВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ
КОРРОЗИОННОМУ РАСТРЕСКИВАНИЮ
ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

17–21 октября 2022 г.
г. Кисловодск



О ВЛИЯНИИ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ НА РАЗВИТИЕ УСТАЛОСТНЫХ ТРЕЩИН В МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДАХ

Арабей А.Б.¹, Ряховских И.В.¹, Капуткин Д.Е.², Истомина Т.Ю.²,
Преферансов Д.И.², Степанова В.А.²

1. ООО «Газпром ВНИИГАЗ»
2. ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет гражданской авиации»

Течение жидкости или газа по трубам

Нефть: $\rho = 700 \div 850 \text{ кг/м}^3$; $v = 1 \div 3 \text{ м/с}$;

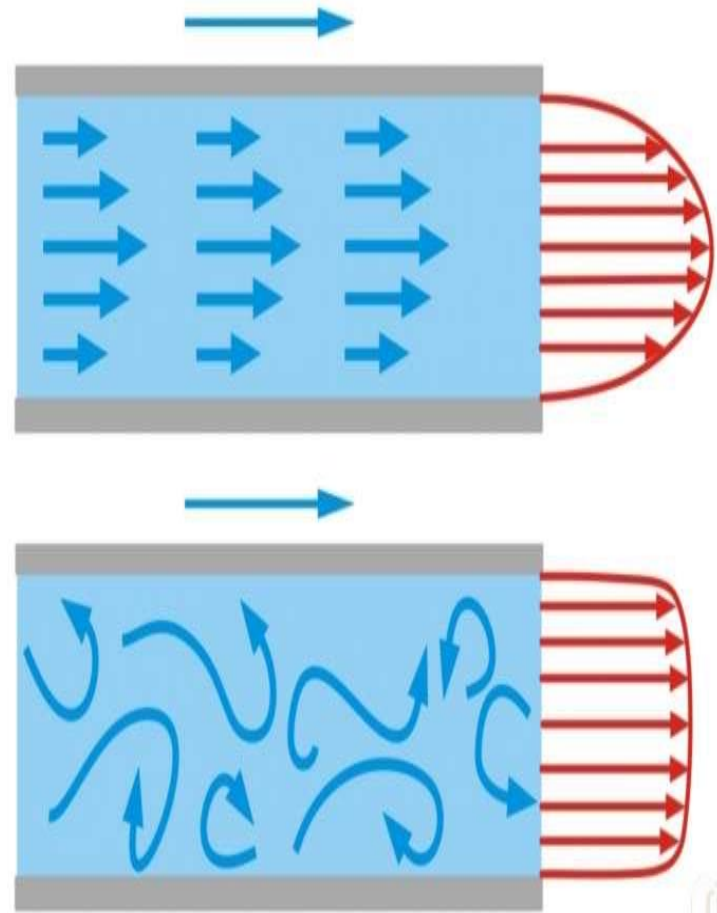
$D = 1,0 \div 1,4 \text{ м}$; $\eta = 0,4 \div 1,0 \text{ Па}\cdot\text{с}$

$$Re_{\text{нефть}} = 700 \div 9000$$

Газ: $\rho = 6 \div 105 \text{ кг/м}^3$; $v = 10 \div 35 \text{ м/с}$;

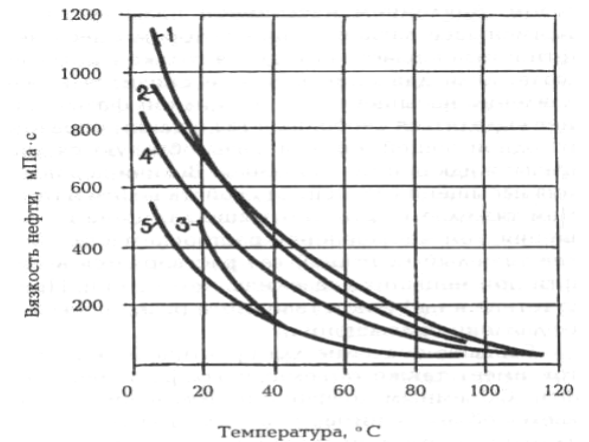
$D = 1,0 \div 1,4 \text{ м}$ $\eta = 10 \div 20 \text{ мкПа}\cdot\text{с}$

$$Re_{\text{газ}} = (4 \div 12000) \cdot 10^6$$



$$Re = \rho \cdot v \cdot D / \eta$$

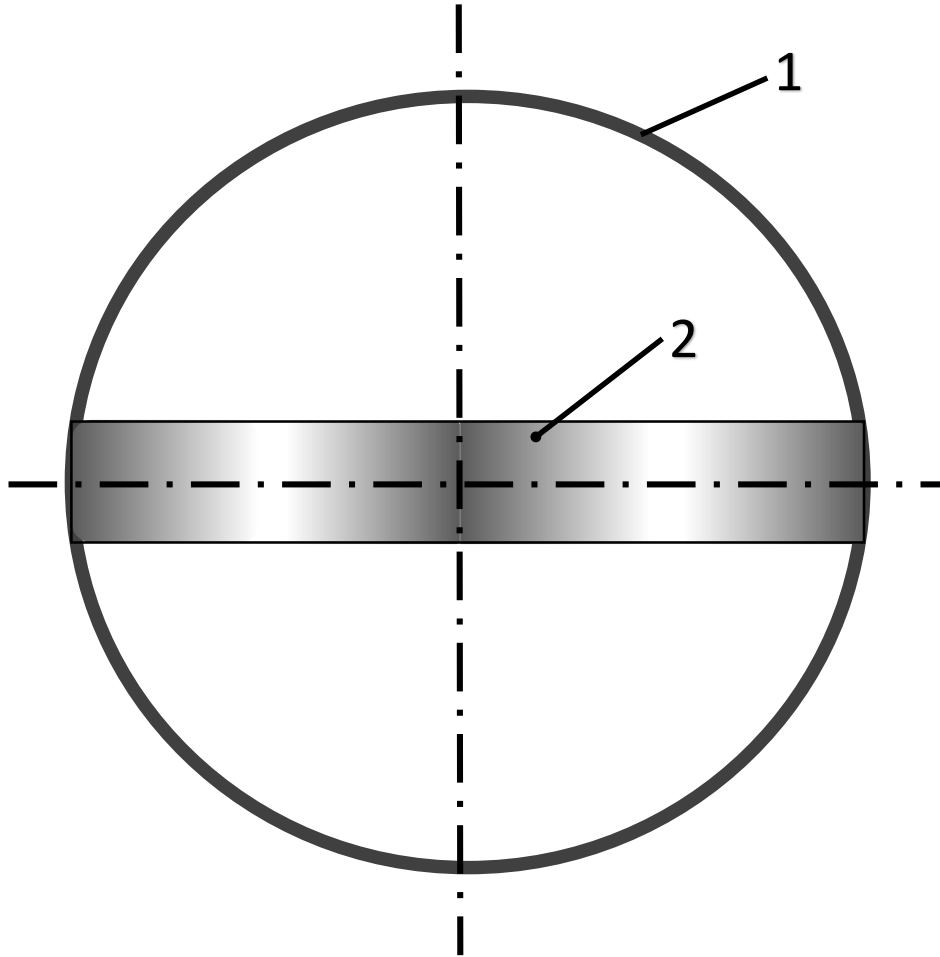
$$Re_{\text{крит}} = 2300 \div 10000$$



Р и с. 12. Зависимость вязкости нефти от температуры.

Нефти месторождений:
 1 — Зыбза-Глубокий Яр (участок Южно-Карский)
 2 — Зыбза-Глубокий Яр (участок Зыбза)
 3 — Павлова Гора
 4 — Каражанбас
 5 — Кенкияк

Схема стоячей акустической волны в газе внутри трубопровода



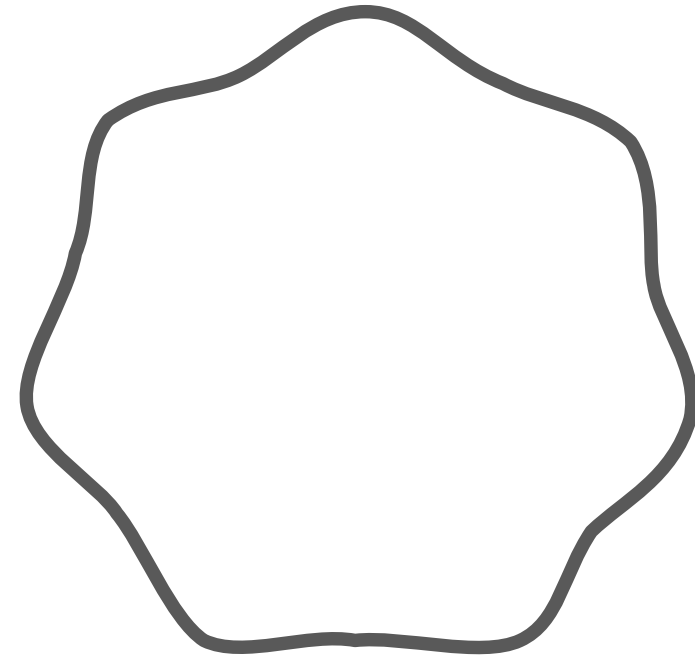
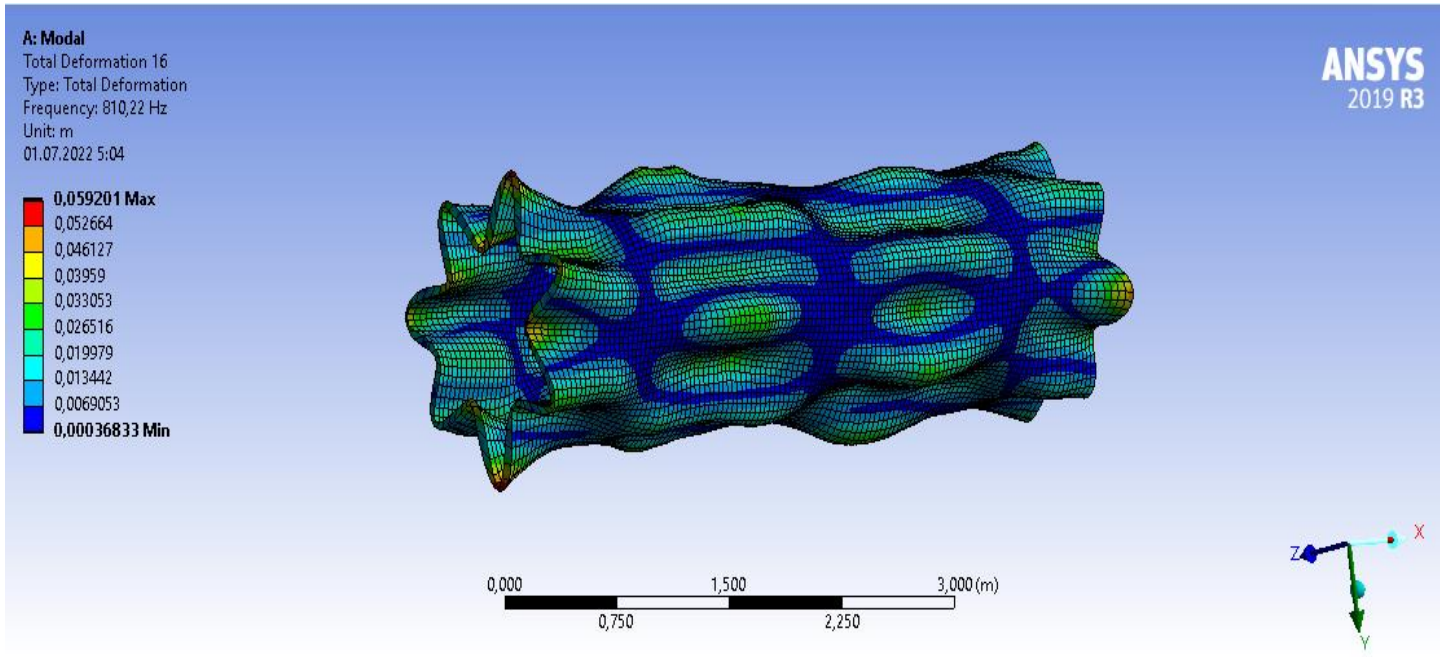
- 1 – стенка трубы,
- 2 – акустическая волна в условиях резонанса:
- светлым цветом выделены узлы;
- тёмным цветом – пучности

$$c = \sqrt{\frac{\gamma \cdot p}{\rho}},$$

$$f_{\text{рез.г.}} = 2 \cdot c / D = \mathbf{800 \div 900 \text{ Гц}}$$

При $D = 1020 \text{ мм}$

Схемы радиальных колебаний трубопровода, рассчитанные по программе ANSYS



$$f_{\text{рез.т.}} = 805 \div 815 \text{ Гц}$$

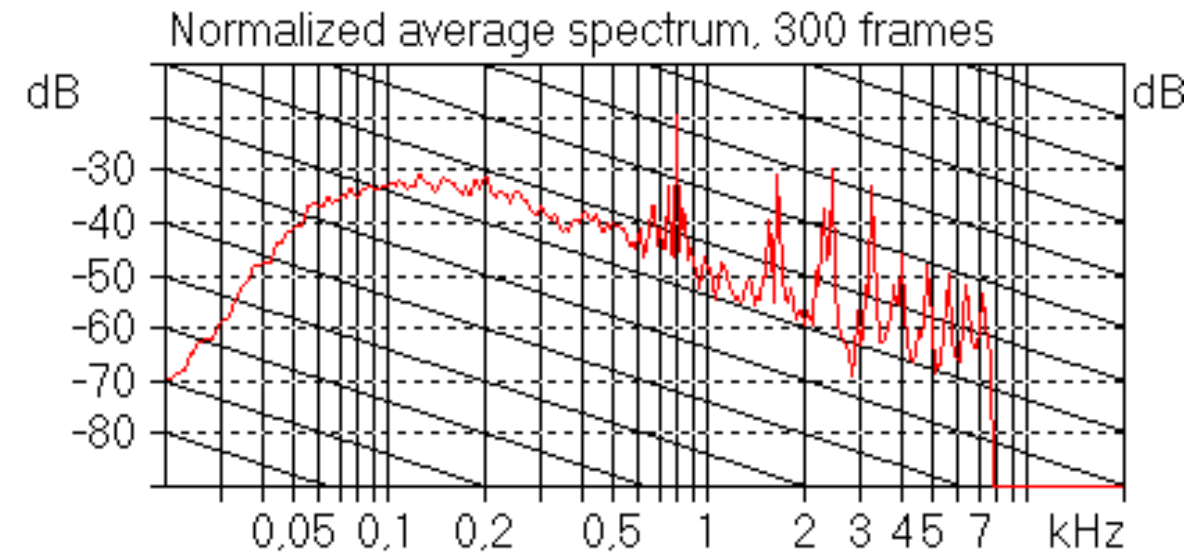
при $D = 1020 \text{ мм}$

$$A_{\text{рез.т.}} \leq 3\% \text{ от } \sigma_{0,2}$$

Adobe Audition

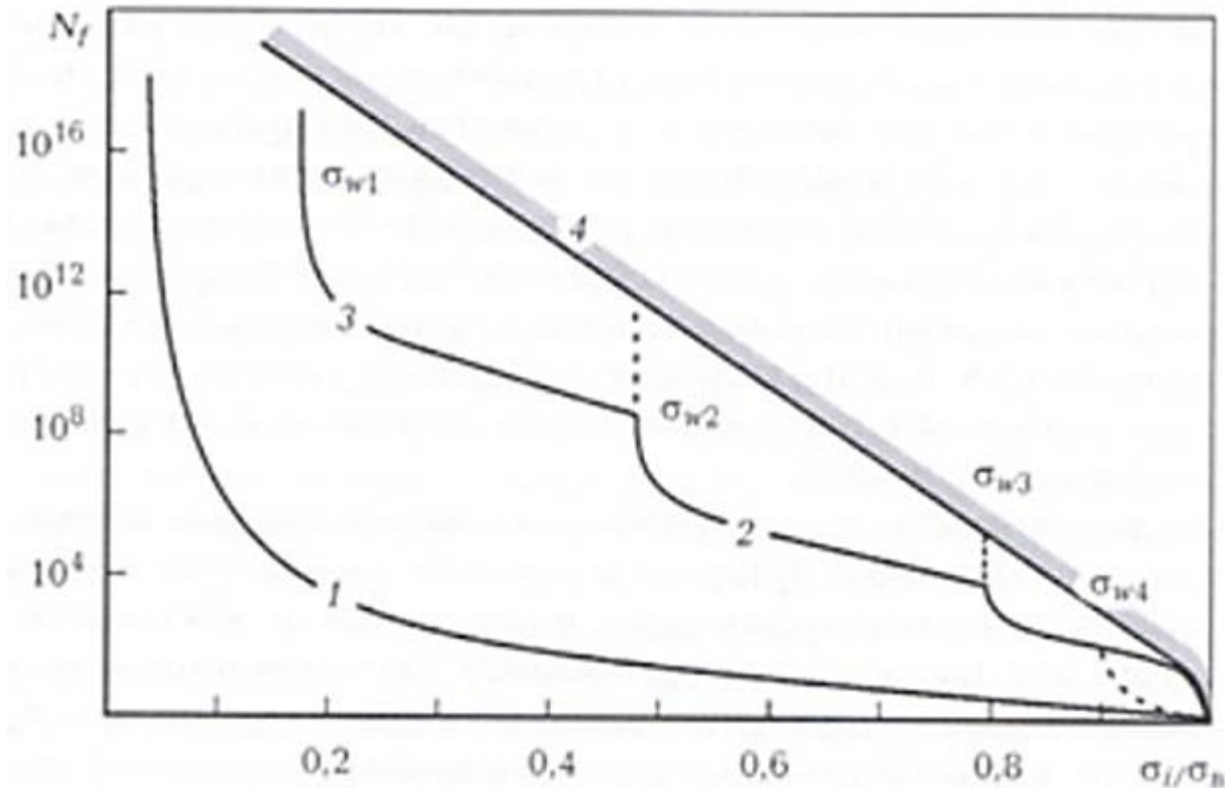


MasVis



$f_{рез.э.} = 804 \pm 12 \text{ Гц}, 1586 \pm 12 \text{ Гц}, 2405 \pm 27 \text{ Гц}, 3206 \pm 44 \text{ Гц} \dots,$
 среднее превышение амплитуд колебаний над фоном = 34÷45 Дб

Обобщённая бифуркационная диаграмма усталостного разрушения различных сплавов с граничными усталостными кривыми



1 – при агрессивном воздействии окружающей среды,
 2, 3 – для различных процессов накопления усталостных повреждений,
 4 - идеальный случай предельно упрочнённых на всё сечение сплавов

Шанявский А.А. Моделирование усталостных разрушений металлов. Синергетика в авиации. Уфа: Изд-во «Монография», 2007. – 500 с.

Оценка времени до разрушения «большой» трещины от акустических колебаний в КРН-активной среде

$$\frac{da}{dN} = C \cdot (\Delta K_I)^m - \text{уравнение Пэриса - Эрдогана}$$

ГОСТ 34027 – 2016

$C = 1,1 \cdot 10^{-13}$

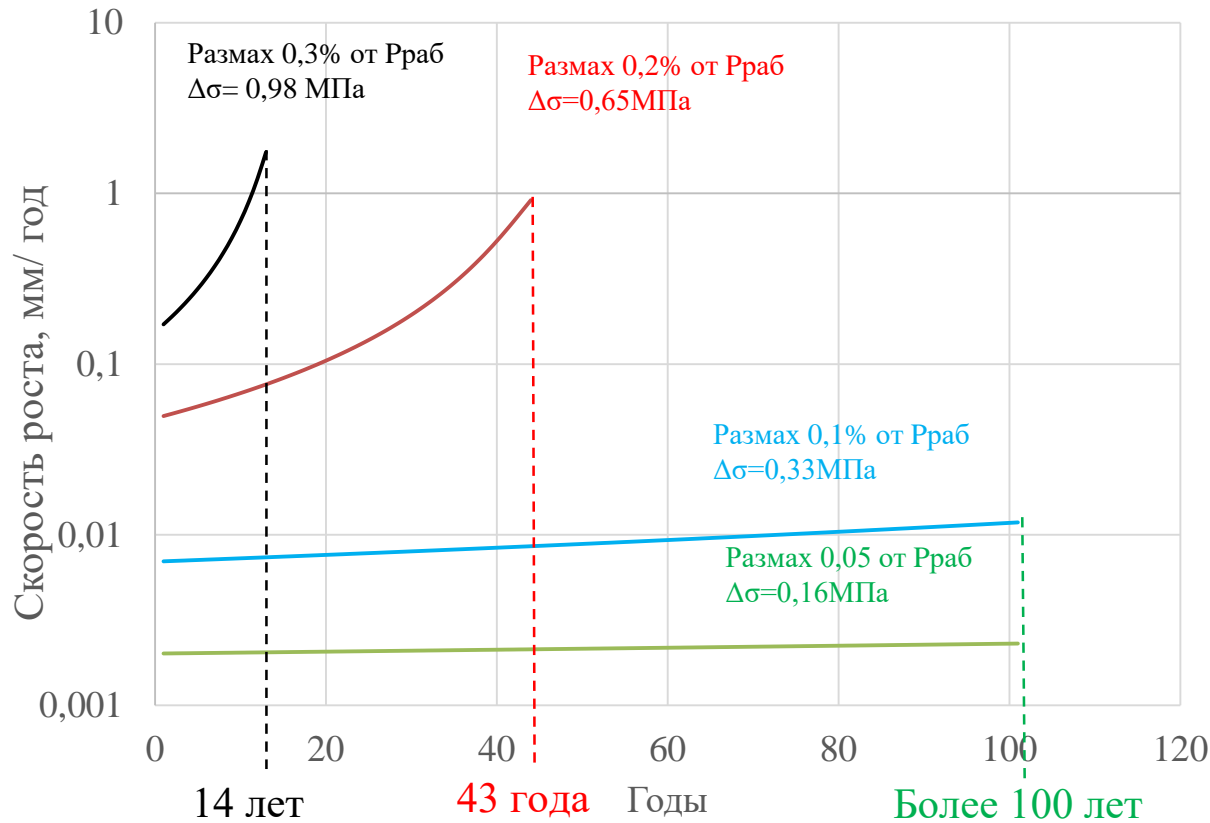
$m = 3,1$

Исходные данные при расчётах:

Рабочее давление, $P_{раб}$:	7,36 МПа
Диаметр трубы:	1420 мм
Толщина стенки трубы:	15,7 мм
Предел прочности металла:	590 МПа (К60)
Ударная вязкость:	78,4 Дж/см ²

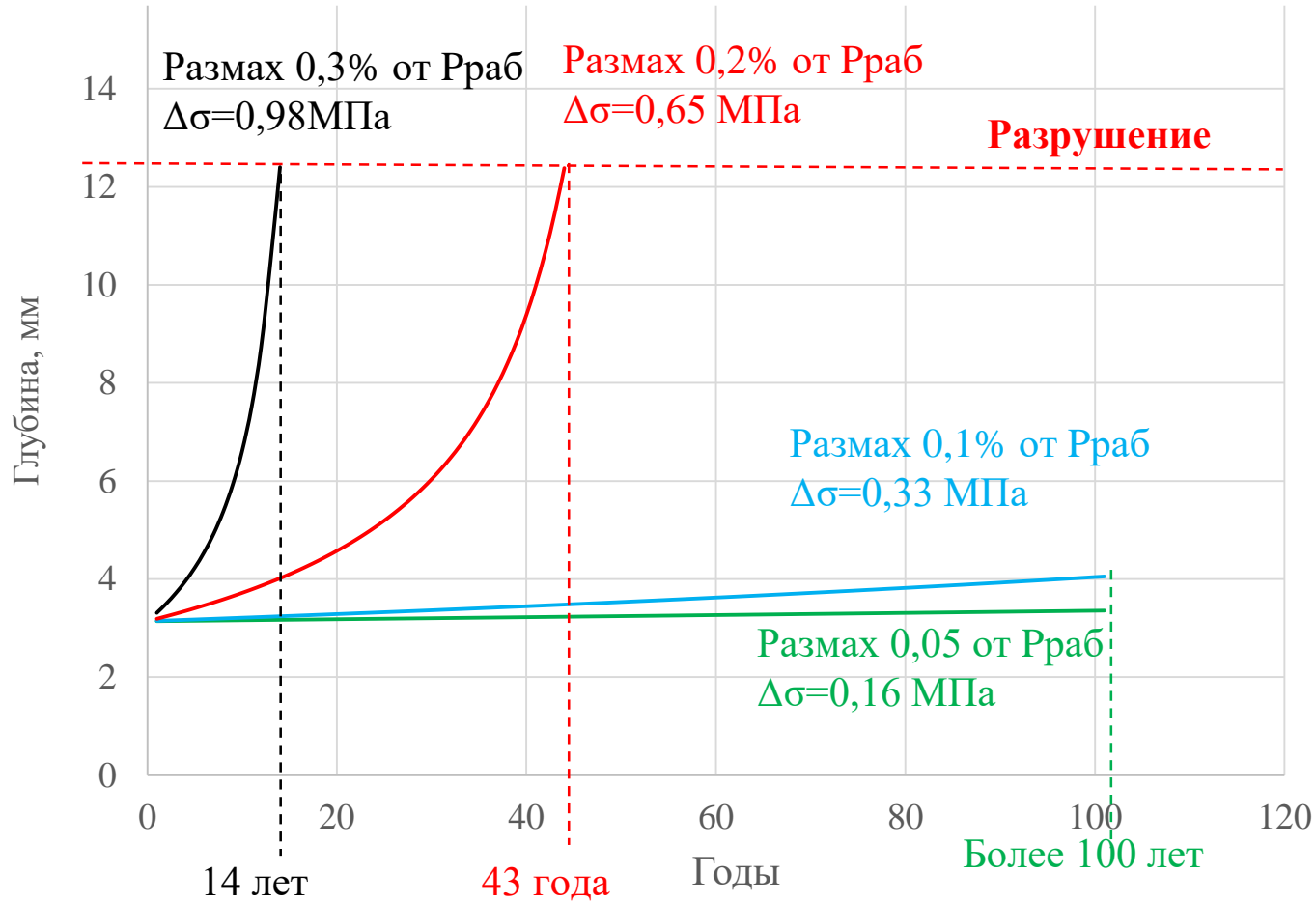
Начальные размеры трещины:

Длина трещины:	100 мм
Глубина трещины:	3,14 мм (20%)
ΔK_I - по СТО Газпром 2-2.3-173-2007 или BS 7910	



<u>Режим эксплуатационного нагружения</u>	<u>Количество циклов в год</u>	<u>Размах напряжений, Δσ, МПа</u>
Перепады давления 100% $P_{раб}$	3	325,5
Перепады давления 10% $P_{раб}$	30	32,6
Акустические колебания	от $2,5 \cdot 10^{10}$	на графиках

Оценка времени до разрушения «большой» трещины от акустических колебаний в КРН-активной среде



Режим нагружения	Количество циклов в год	Размах напряжений, $\Delta\sigma$, МПа
Перепады давления 100% $P_{раб}$	3	325,5
Перепады давления 10% $P_{раб}$	30	32,6
Акустические колебания	$2,5 \cdot 10^{10}$	на графиках

1. Эффективные режимы транспортировки газа по магистральным трубопроводам сопровождаются турбулентностью потока, что не характерно для режимов магистральной транспортировки жидких сред.
2. Турбулентность потока транспортируемого газа вызывает акустические колебания конструкции трубопровода, которые следует относить к числу воздействий постоянного характера. Интерференция акустических колебаний с собственными колебаниями конструкции может вызывать резонансные колебания отдельных участков газопровода.
3. Экспериментально измеренные частоты акустических колебаний стенки трубы магистрального газопровода соответствуют результатам теоретического анализа и компьютерного моделирования
4. Акустические колебания стенки трубы магистрального газопровода могут приводить к интенсификации коррозионного растрескивания под напряжением при контакте стали с грунтовым электролитом

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Арабей А.Б.¹, Ряховских И.В.¹, Капуткин Д.Е.², Истомина Т.Ю.²,
Преферансов Д.И.², Степанова В.А.²

1. ООО «Газпром ВНИИГАЗ»
2. ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет гражданской авиации»